

## Three-dimensional microstructure

**Publication number:** DE19652463

**Publication date:** 1998-06-18

**Inventor:** WITTHUHN WOLFGANG PROF DR (DE);  
SCHREMPPEL FRANK DIPL PHYS (DE)

**Applicant:** UNIV SCHILLER JENA (DE)

**Classification:**

- international: ~~B29C59/16~~; G03F7/00; G03F7/20; H01J37/317;  
B29C35/08; B29C59/00; G03F7/00; G03F7/20;  
H01J37/317; B29C35/08; (IPC1-7): B32B27/30;  
B32B35/00; B29C59/16; B32B3/30; B32B31/28;  
G03F7/20; H01L49/00

- european: B29C59/16; G03F7/00; G03F7/20G2; G03F7/20Q;  
H01J37/317B; Y01N4/00

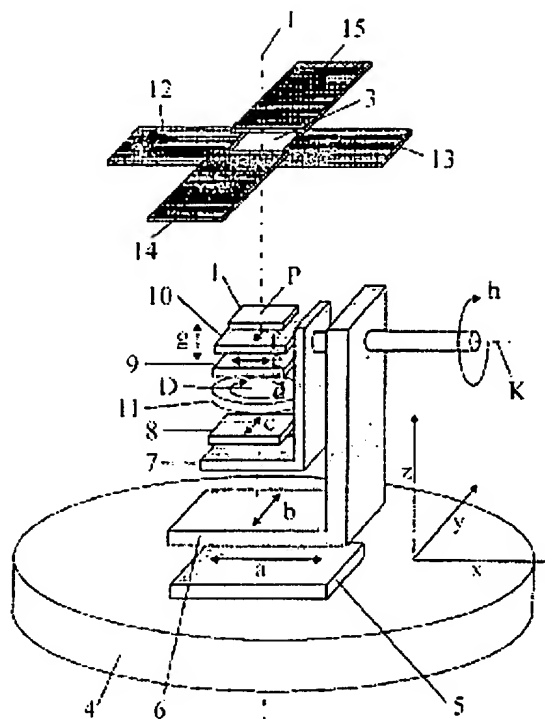
**Application number:** DE19961052463 19961217

**Priority number(s):** DE19961052463 19961217

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE19652463

In a process for manufacturing three-dimensional microstructures of a desired shape an ionising beam is directed at a radiation-sensitive material(1), especially polymethyl methacrylate(PMMA) while the position of the latter is varied relative to the beam. Process equipment comprises of an ion beam emitter and apparatus for varying the position of the radiation sensitive material(1) at which the beam is directed.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 196 52 463 C 2**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 29 C 59/16**  
B 32 B 3/30  
B 32 B 31/28  
G 03 F 7/20  
H 01 L 49/00  
B 29 C 67/00

⑳ Aktenzeichen: 196 52 463.6-16  
㉔ Anmeldetag: 17. 12. 96  
㉕ Offenlegungstag: 18. 6. 98  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 25. 2. 99

**DE 196 52 463 C 2**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07743 Jena, DE

⑦② Erfinder:  
Witthuhn, Wolfgang, Prof. Dr., 07743 Jena, DE;  
Schrempel, Frank, Dipl.-Phys., 07743 Jena, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

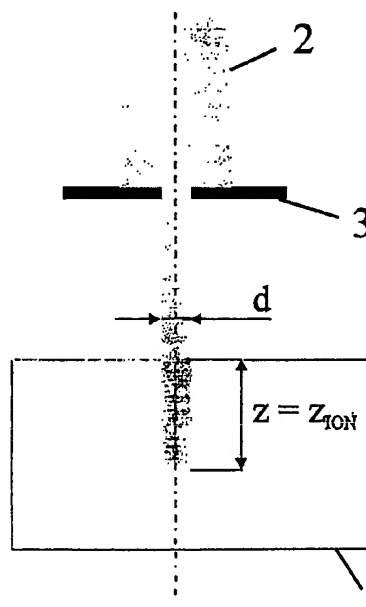
DE 42 19 667 A1  
DE 38 06 770 A1  
US 55 12 123  
EP 03 73 329 A2  
WO 94 25 881

D.Münchmeyer, e.a., "Aufbau von  
Fertigungseinrich-  
tungen für Masken für die Röntgentiefenlithogra-  
phie, KfK-Nachr. 19, 180-191, 4/87;  
J.Mohr, e.a., "Requirements on resist layers in  
deep-etch synchrotron radiation Lithography, J.  
Vac. Sci. Technol. B6 (6), 2264-2267, 1988;  
E.W.Becker, e.a., "Fabrication of microstructures  
with high aspect ratios and great structural  
heights by synchrotron radiation lithography, gal-  
vanoforming, and plastic moulding (LIGA process),  
Microelectronic Engineering 4, 35-56, 1986;

W.Ehrfeld, E.W.Becker, "Das LIGA-Verfahren zur  
Herstellung von Mikrostrukturkörpern mit großem  
Aspektverhältnis u. großer Strukturhöhe", KfK-  
Nachrichten, 19, 167-179, 4/87;  
J.Moler, e.a., "Analyse der Defektursachen und der  
Genauigkeit der Strukturübertragung bei der Rönt-  
gentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung",  
KfK-Bericht 4414, Juli 1988;  
S.Kufner, "3D-Integration miniaturisierter  
refraktiver optischer Komponenten in PMMA",  
Dissertation Uni Erlangen-Nürnberg, 1993;  
M.Komuro, e.a., "Ion beam exposure of resist  
mater-  
ials" J. Electrochem. Soc. 126 [3], 483-490, 1979;  
J.O.Choi, e.a., "Degradation of poly (methylmetha-  
crylate) by deep ultraviolet, x-ray, electron  
beam, and proton beam irradiations", J. Vac. Sci.  
Technol. B6 [6], 2286-2289, 1988;  
T.M.Hall, e.a., "Ion beam exposure characteristics  
of resists", J. Vac. Sci. Technol. 16 [6], 1889-  
1892, 1979;  
H.Ryssel, e.a., "Ion-beam sensitivity of polymer  
resists", J. Vac. Sci. Technol. 19 [4], 1358-1362,  
1981;  
M.Kufner, "Herstellung und Charakterisierung von  
hochgeöffneten Mirolinsen in PMMA", Dissertation  
Uni Erlangen-Nürnberg, 1993;

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung dreidimensionaler Mikrostrukturen beliebiger Form

⑤⑦ Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Mikro-  
strukturen beliebiger Form, bei dem ein Resist, zum Bei-  
spiel Polymethylmethacrylat (PMMA), zur Erzeugung der  
Mikrostrukturen einer ionisierenden Strahlung ausgesetzt  
wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ionenstrahl mit  
definiert begrenztem Strahlquerschnitt und mit definier-  
ter Ionen-Eindringtiefe in den Resist unter programmge-  
steuerter Lageveränderung des Resists in mehreren Frei-  
heitsgraden Bodenstrukturen in diesem erzeugt.



**DE 196 52 463 C 2**



Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung dreidimensionaler Mikrostrukturen beliebiger Form, insbesondere zur Herstellung von Bauelementen in der Mikrosystemtechnik (z. B. Mikromechanik, Mikrooptik).

Es ist bekannt (z. B. E. W. Becker, W. Ehrfeld, D. Münchmeyer: "Production of separation-nozzle systems for Uranium enrichment by a combination of X-ray lithography and galvanoplastics" *Naturwissenschaften* 69, 520-523, 1982), nach dem am Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelten sog. LIGA-Verfahren (Lithographie, Galvanoformung, Abformung) dreidimensionale Mikrostrukturen mit geraden Wänden herzustellen. Ein strahlenempfindliches Polymer (Positivresist), z. B. Polymethylmethacrylat (PMMA), wird dabei auf ein Substrat aufgebracht und durch eine Maske ionisierender Strahlung (Synchrotron-, Elektronen-, UV-, oder Ionenstrahlen) ausgesetzt. In den bestrahlten Gebieten wird durch Brüche von Polymerketten das Molekulargewicht des Resists reduziert und dadurch seine Löslichkeit erhöht. Mit einem geeigneten Entwickler können die so bestrahlten und veränderten Gebiete herausgelöst werden, ohne daß die übrigen Resistzonen abgetragen werden. Auf diese Weise wird eine Kunststoffform erzeugt, deren Zwischenräume galvanisch mit einem Metall aufgefüllt werden können. Die nach dem Auflösen des unbestrahlten Resistes verbleibenden metallischen Mikrostrukturen können als Formeinsätze für die Mikroabformung benutzt werden. Hierzu sind eine Reihe von Veröffentlichungen für spezielle Anwendungen des Verfahrens erschienen (E. W. Becker, W. Ehrfeld, P. Hagmann, A. Maner, J. Mohr, D. Münchmeyer: "Konzepte für die Herstellung von Spinddüsenplatten durch Röntgentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung, Galvanoformung und Kunststoffabformung", *KfK-Bericht* 3961, August 1985; E. W. Becker, W. Ehrfeld, P. Hagmann, A. Maner, D. Münchmeyer: "Fabrication of microstructures with high aspect ratios and great structural heights by synchrotron radiation lithography, galvanofarming and plastic moulding (LIGA process)", *Microelectronic Engineering* 4, 35-56, 1986; W. Ehrfeld, E. W. Becker: "Das LIGA-Verfahren zur Herstellung von Mikrostrukturkörpern mit großem Aspektverhältnis und großer Strukturhöhe", *KfK-Nachrichten* 19, 167-179, 4/87).

Die bei dem klassischen LIGA-Verfahren bevorzugt verwendeten Synchrotron- und UV-Strahlen haben durch die Art ihrer Energieabgabe als elektromagnetische Strahlung keine scharf definierte Eindringtiefe im Resistmaterial. Somit kann man nach der Entwicklung keine ebenen Strukturböden im Resist erzeugen. Aus diesem Grund bringt man den Resist auf ein Substrat auf und wählt die Strahlungsparameter derart, daß der Resist über seine ganze Tiefe belichtet und die Strahlung erst im Substrat gebremst wird. Die Verwendung von Resistschichten auf Substratmaterialien führt allerdings zu Spannungen an deren Grenzfläche sowohl während der Bestrahlung als auch während des Entwicklungsprozesses (J. Mohr, W. Ehrfeld, D. Münchmeyer: "Analyse der Defektursachen und der Genauigkeit der Strukturübertragung bei der Röntgentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung", *KfK-Bericht* 4414, Juli 1988). Dadurch müssen die Haftvermittler für jede zu erzeugende Struktur neu abgestimmt werden. Elektronen besitzen zwar als Teilchenstrahlung eine definierte Reichweite im Resist, jedoch ist ihre Streuung in und senkrecht zur Strahlrichtung (Stragglings) so groß, daß sie lediglich zur Strukturierung im Sub-µm-Bereich geeignet sind.

Allen genannten Verfahrensanwendungen haftet vom Grundsatz der Nachteil an, daß keine echt dreidimensiona-

len Strukturen erzeugt werden, sondern lediglich gerade, senkrechte Strukturwände, deren Tiefe durch die Energie der Bestrahlung einflußbar ist. Mit Änderung des Bestrahlungswinkels können zwar schräge Strukturen erzeugt werden (EP 0373329 A2), diese weisen jedoch gleichermaßen gerade, wenn auch geneigte, Strukturwände auf.

Es ist weiter bekannt, den Strukturierungsschritt des LIGA-Verfahrens mit Ionenbestrahlung (z. B. S. Kufner: "3D-Integration miniaturisierter refraktiver optischer Komponenten in PMMA", Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg, 1993) statt mit Synchrotron-, Elektronen- und UV-Strahlen durchzuführen. Auf Grund der Art ihrer Energieabgabe der Ionen an den Resist durch elastische (nukleare Wechselwirkung) und unelastische (elektronische Wechselwirkung) Stöße mit den Targetatomen, besitzen die Ionen eine scharf definierte Eindringtiefe (J. P. Biersack, J. F. Ziegler: "The stopping and ranges of ions in matter", Vol. 1, Pergamon Press [1985]). Es kann somit auf das Substrat verzichtet und im vollen Resistmaterial strukturiert werden. Die Probleme an der Grenzfläche Substrat-Resist entfallen. Die Streuung der Ionen (Stragglings) in und senkrecht zur Strahlrichtung ist sehr klein (M. Komuro, N. Atoda, H. Kawakatsu: "Ion beam exposure of resist materials", *J. Electrochem. Soc.* 126 [3], 483-490, 1979). Beugungs- und Interferenzeffekte treten bei den vorgesehenen Strukturabmessungen nicht auf. Durch die hohe elektronische Energiedeposition sind Ionen für die Bestrahlung von Resists effizienter als andere Strahlungsarten (J. O. Choi, J. A. Moore, J. C. Corelli, J. P. Silverman, H. Bakhru: "Degradation of poly(methylmethacrylate) by deep ultraviolet, x-ray, electron beam, and proton beam irradiations", *J. Vac. Sci. Technol. B* 6 [6], 2286-2289, 1988; T. M. Hall, A. Wagner, L. F. Thompson: "Ion beam exposure characteristics of resists", *J. Vac. Sci. Technol.* 16 [6], 1889-1892, 1979; H. Ryssel, K. Habberger, H. Kranz: "Ion-beam sensitivity of polymer resists", *J. Vac. Sci. Technol.* 19 [4], 1358-1362, 1981).

Mit der bisherigen Ionenstrahlanwendung im Rahmen des klassischen LIGA-Verfahrens sind zwar die Eindringtiefen der Strahlung in den Resist abgrenzbar, trotz definierter Strukturtiefe sind nach wie vor keine echt dreidimensionalen Strukturen gegeben. Auch dieses Verfahren erzeugt ausschließlich gerade Strukturflächen in den Tiefenbereich des Resists hinein.

Mikrostrukturen mit gekrümmten Flächen werden deshalb grundsätzlich mit drei anderen Verfahrensarten realisiert: dem Prägeverfahren, dem Quellverfahren sowie mit lithographischen Verfahren.

Beim Prägeverfahren (z. B. DE 42 19 667 A1) wird ein heißes Werkzeug (Stempel) in den Resist gedrückt. Damit wird der Mittenrauhwert der zu formenden Struktur durch die Rauheit des mechanisch hergestellten Stempels bestimmt. Die Mittenrauhwerte von Flächen, die mittels dieses Verfahrens hergestellt wurden, sind größer als 100 nm. Für optische Elemente benötigt man jedoch z. B. Rauheiten, die kleiner als ein Zehntel der verwendeten Lichtwellenlänge sind; das heißt der Mittenrauhwert muß im allgemeinen kleiner als 50 nm sein. Beim Quellverfahren werden die bestrahlten Gebiete nicht entwickelt, sondern es erfolgt ein Aufquellen dieser Bereiche durch Eindiffusion eines vernetzenden Monomers (Negativresist), der später polymerisiert wird (M. Kufner: "Herstellung und Charakterisierung von hochgeöffneten Mikrolinsen in PMMA", Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg, 1993 oder M. Kufner, S. Kufner, M. Frank, J. Moisel, M. Testorf: "Microlenses in PMMA with high relative aperture: a parametric study", *Pure Appl. Opt.* 2 [1993], 9-19). Da die Form der gequollenen Fläche durch die Oberflächenspannung bestimmt wird, sind ihre Krümmungsradien nicht beliebig einstellbar.



Die mit Licht-, Elektronen-, Röntgen- oder Ionenstrahlen arbeitenden lithographischen Verfahren finden prinzipiell ebenfalls zur Herstellung von Strukturen mit Krümmung Anwendung. Bei diesen Prozessen wird die Abhängigkeit der Entwicklungsrate von der Bestrahlungsdosis ausgenutzt. In engen Rasterabständen wird mit verschiedenen Dosiswerten bestrahlt, die über die endgültige Form der Strukturen nach der Entwicklung entscheiden (WO 94/25881). Das Rastermaß bestimmt die Rauheit der Flächen. Mit diesem Verfahren können die in der Optik erforderlichen unterschiedlichen Krümmungsradien der Strukturen von radial sphärisch bis elliptisch realisiert werden. Durch die notwendige Zerlegung der gekrümmten Strukturgeometrie in eine hohe Anzahl elementarer Strukturdetails treten jedoch, abhängig von dieser Strukturgeometrie, die Probleme langer Bearbeitungszeit und großer Datenmengen auf, woraus gerade bei komplizierten Strukturformen ein relativ hoher Bearbeitungsaufwand resultiert.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zu Grunde, in einem Resist echt dreidimensionale Strukturen herzustellen, deren Strukturflächen in jeder Ausdehnung mit möglichst geringer Bearbeitungszeit, hoher Genauigkeit und minimalen Rauheiten beliebig gestaltet werden können.

Die scharf definierte Eindringtiefe der Ionen in Festkörper wird ausgenutzt, um im Resistmaterial Bodenstrukturen geringer Rauheit zu erzeugen (Mittenrauhwert kleiner als 10 nm). Protonen werden für die Bestrahlung bevorzugt verwendet, da sie bei großer Eindringtiefe (einige  $\mu\text{m}$  bis einige mm) in den Resist kleine laterale und vertikale Streuungen (Stragglings) aufweisen und Sekundäreffekte durch gestreute Targetatome (Recoils) ebenfalls gering sind. Die Verwendung anderer, schwererer Ionensorten ist prinzipiell ebenfalls möglich.

Erfindungsgemäß wird der Resist, beispielsweise Polymethylmethacrylat (PMMA), zur Erzeugung der Mikrostrukturen der Bestrahlung einer an sich bekannten Ionenstrahlbearbeitungsanlage mit definiert begrenztem Querschnitt des Ionenstrahls und definierter Ioneneindringtiefe in den Resist ausgesetzt und während der Ionenbestrahlung in seiner relativen Lage zur Ionenstrahlbearbeitungsanlage in mehreren Freiheitsgraden verändert.

Es ist vorteilhaft, wenn der Resist zu seiner Lageveränderung während der Ionenbestrahlung mit einem an sich bekannten und rechnergesteuert angetriebenen Goniometer in Verbindung steht.

Es ist ebenfalls von Vorteil, wenn der definiert begrenzte Querschnitt des Ionenstrahls mit einer motorisch angetriebenen Blende einstellbar ist.

Mit der Erfindung wird die an sich bekannte scharf definierte Eindringtiefe der Ionen in Strahlrichtung (normalerweise senkrecht zur Resistoberfläche) ausgenutzt, um durch eine gesteuerte (programmierte) Lageveränderung des Resists während der Bestrahlung den besagten Eindringtiefeffekt in dreidimensionale Richtung wirken zu lassen. Somit werden durch die Bestrahlung nicht mehr gerade Strukturen in Strahlrichtung der Ionen in der Tiefe des Resists erzeugt, sondern es wird eine mehrdimensional veränderliche Resist-Bodenstruktur geschrieben. Diese Bodenstruktur kann sowohl stetig mit beliebigem Flächenverlauf als auch beliebig abgesetzt sein.

Bisher mußten nichtebene Strukturflächen durch eingangs genannte andere Verfahren erzeugt werden. Durch die erfindungsgemäßen Merkmale sind diese nichtebenen Strukturflächen nunmehr in Anlehnung an das LIGA-Verfahren mittels Ionenbestrahlung herstellbar, wobei die Vorteile dieses Verfahrens (Genauigkeit, geringe Rauigkeit) für die Resist-Strukturierungen im vollen Umfang zum Tragen kommen.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Es zeigen:

Fig. 1 Bestrahlung eines Resists bei senkrechtem Einschub zur Resistoberfläche

Fig. 2 Bestrahlung eines Resists bei schrägem Einschub zur Resistoberfläche

Fig. 3 Kontinuierliche Kippbewegung des Resists während der Bestrahlung

Fig. 4 Resultierende Struktur bei gleichzeitiger Kippung und Rotation des Resists

Fig. 5 Kennzeichnung der Achsen und Bewegungsmöglichkeiten

Fig. 6 Strukturformänderung bei Verschiebung in Strahlrichtung

Fig. 7 Schreiben von Strukturen nach Vorgabe einer Form durch die Verschiebung gemäß Fig. 6

Fig. 8 Prinzipaufbau eines Goniometers zur Bewegung des Resists während der Ionenbestrahlung

In Fig. 1 ist das an sich bekannte Prinzip der Bestrahlung eines Resists 1 mit einem Ionenstrahl 2 schematisch dargestellt. Der Ionenstrahl 2 wird durch eine Blende 3 auf einen Strahldurchmesser  $d$  begrenzt und trifft senkrecht auf den Resist 1 und dringt in diesen bis zu einer Tiefe  $z$  (Ioneneindringtiefe  $z_{\text{ION}}$ ) ein. Kippt man den Resist 1 um einen Winkel  $\alpha$  (siehe Fig. 2), so beträgt die bestrahlte Tiefe senkrecht zur Resistoberfläche  $z = z_{\text{ION}} \cos(\alpha)$ . Variiert man nun den Winkel  $\alpha$  kontinuierlich während des Bestrahlungsprozesses, so beschreibt der Strahl bei kleinem Strahldurchmesser  $d$  bezüglich des Strukturdurchmessers einen Halbkreis (Fig. 3). Rotiert man den Resist 1 zusätzlich um einen Winkel  $\gamma$ , so ergibt sich die in Fig. 4 dargestellte Halbkugel. Dabei wird vorausgesetzt, daß ein Strahlauftreffpunkt P (Schnittpunkt der Ionenstrahlachse I mit der Oberfläche des Resists 1), die Kippachse K (Winkel  $\alpha$ ) und die Rotationsachse D (Winkel  $\gamma$ ) sich in einem Punkt schneiden. Die Lage der Achsen wird in Fig. 5 veranschaulicht; die Buchstaben a-g symbolisieren mögliche Positionierbewegungen (Bewegungs-Freiheitsgrade).

Durch die Veränderung dieser Achsenlagen relativ zueinander lassen sich Strukturen mit unterschiedlichen Krümmungsradien herstellen. Die Fig. 6a bis 6c zeigen Simulationsrechnungen dazu. Die Einheiten der Achsen sind in  $\mu\text{m}$  angegeben; X- und Z-Offset beziehen sich auf die Positionierbewegungen a und g aus Fig. 5. Der Winkel  $\alpha$  wird von  $-89^\circ$  bis  $89^\circ$  variiert. Schneiden sich alle drei Achsen (I, D, K) im Strahlauftreffpunkt P (Koordinatenursprung), so ergibt sich eine Kugelfläche (Fig. 6a). In den Fig. 6b und 6c wird die Krümmung der resultierenden Fläche durch den Abstand des Strahlauftreffpunktes P von der Kippachse K bestimmt. Variiert man diesen Abstand mittels der Bewegung g aus Fig. 5 in Abhängigkeit vom Kippwinkel  $\alpha$  während der Bestrahlung, so lassen sich nahezu beliebige Figuren schreiben.

Zwei Beispiele dafür sind in den Fig. 7a und 7b dargestellt. Die durchgehenden Linien sind die Strukturvorgaben; die Realisierung wird durch die grauen Flächen gegeben, welche die vom Ionenstrahl 2 überstrichenen Bereiche darstellen.

Um die vorgenannten Möglichkeiten der Strukturherzeugung zu realisieren, muß der Resist 1 während der Ionenbestrahlung in mehreren Freiheitsgraden relativ zur Ionenstrahlanordnung bewegbar sein. Fig. 8 zeigt hierfür als Beispiel schematisch den Aufbau eines an sich bekannten Goniometers, auf welches der Resist 1 aufgelegt wird. Achsen und Punkte sind mit Großbuchstaben gekennzeichnet. Auf die Darstellung eines programmgesteuerten Antriebes des



Goniometers wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Das Goniometer wird auf einem (Vakuumkammer-) Grundflansch 4 aufgebaut, zu dem das in Fig. 8 angedeutete Koordinatensystem definiert wird. Damit liegen die Richtungen der Kipp- und Rotationsachsen fest. Auf dem Grundflansch 4 sind zwei Linearmeßtische 5, 6 für die Positionierbewegungen a, b angeordnet. Am Linearmeßtisch 6 ist eine Kippung über die Kippachse K angebracht. Dadurch wird eine um den Winkel  $\alpha$  (Positionierbewegung h) kippbare Grundplatte 7 für die darauf angeordneten Linearmeßtische 8, 9, 10 (Positionierbewegungen c, e, f) und eine um die Rotationsachse D (Positionierbewegung d) drehbare Platte 11 festgelegt. Der Resist 1 liegt auf dem Linearmeßtisch 10 zur Bearbeitung auf. Der bearbeitende Ionenstrahl I gelangt als erstes auf die Blende 3, die durch zwei Blendenschieber 12, 13 in x-Richtung sowie durch zwei Blendenschieber 14, 15 in y-Richtung dargestellt ist. Die Blendenschieber 12, 13, 14, 15 sind zur Blendenöffnung (1.... 50  $\mu\text{m}$ ) vorzugsweise motorisch bewegbar (nicht in der Zeichnung dargestellt). Der durch die Blende 3 hindurchgehende Anteil des Ionenstrahls 1 (Durchmesser von 1  $\mu\text{m}$  bis 50  $\mu\text{m}$ ) trifft im Punkt P auf die Oberfläche des Resists 1.

Nachfolgend sollen zusammenfassend die Einstell- und Bewegungsmöglichkeiten relativ zur Ionenstrahlachse I als Übersicht zusammengefaßt werden:

Die Positionierbewegung a mittels des Linearmeßtisches 5 führt eine Translation mit Verschiebung der Rotationsachse D in x-Richtung aus. Diese Bewegung dient der Positionierung des Strahlauftreffpunktes P in x-Richtung. Durch die Positionierbewegung b des Linearmeßtisches 6 erfolgt eine Translation mit Kipp- und Rotationsachsenverschiebung in y-Richtung. Hier wird die Ionenstrahlachse I zur Kippachse K justiert. Die Verschiebung ruft automatisch eine Veränderung der Lage des Strahlauftreffpunktes P zur Rotationsachse D in y-Richtung hervor. Diese Lageveränderung muß mit der Positionierbewegung c korrigiert werden.

Die Positionierbewegung c des Linearmeßtisches 8 bewirkt eine Translation mit Rotationsachsenverschiebung in y-Richtung. Die Verschiebung hat die gleiche Funktion wie die Positionierbewegung a, nur in y-Richtung, dient aber auch zur Korrektur der Positionierbewegung b (siehe vorstehend).

Die Positionierbewegung d führt an der Platte 11 eine Rotation um die Rotationsachse D (Winkel  $\gamma$ ) aus. Die Rotation ist eine der beiden grundlegenden Bewegungen zum Schreiben der Strukturen.

Der Strahlauftreffpunkt P kann mit Positionierbewegungen e, f der Linearmeßtische 9, 10 in x- bzw. y-Richtung verschoben werden. Beide Verschiebungen ermöglichen, neue Bearbeitungspositionen auf dem Resist 1 anzufahren, ohne die anderen geometrischen Bedingungen zu verändern.

Mit der Positionierbewegung g erfolgt eine Translation mit Kippachsenverschiebung in z-Richtung. Diese Verschiebung, welche durch Bewegung der auf der Grundplatte 7 angeordneten Baugruppen relativ zur Grundplatte 7 forciert wird (aus Übersichtsgründen nicht explizite in der Zeichnung dargestellt), ist eine mögliche Bewegung zur Variation der Strukturformen. Sie erfolgt in Abhängigkeit mit der Kippung um den Winkel  $\alpha$  und der Rotation um den Winkel  $\gamma$ .

Die Positionierbewegung h beschreibt eine Drehung um die Kippachse K (Winkel  $\alpha$ ). Mit dieser zweiten Grundbewegung (0°... 90°, bzw. -90°... 90°) kann die Grundplatte 7 mit den darauf angeordneten Baugruppen in ihrer Winkel-lage relativ zum Linearmeßtisch 6 und damit zum Grundflansch 4 geneigt werden.

Darüber hinaus wird durch Bewegung der Blendenschieber 12, 13, 14, 15 in x- bzw. y-Richtung die Form und/oder die Position des Ionenstrahls 2 eingestellt.

## Bezugszeichenliste

- 1 Resist
- 2 Ionenstrahl
- 3 Blende
- 4 Grundflansch
- 5, 6, 8, 9, 10 Linearmeßtisch
- 7 Grundplatte
- 11 Platte
- 12, 13, 14, 15 Blendenschieber
- I Ionenstrahlachse
- K Kippachse (Winkel  $\alpha$ )
- D Rotationsachse (Winkel  $\gamma$ )
- P Strahlauftreffpunkt
- d Strahldurchmesser
- z Tiefe
- $Z_{\text{ION}}$ ; Ioneneindringtiefe
- $\alpha$ ,  $\gamma$  Winkel
- a, b, c, d, e, f, g, h mögliche Positionierbewegungen

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Mikrostrukturen beliebiger Form, bei dem ein Resist, zum Beispiel Polymethylmethacrylat (PMMA), zur Erzeugung der Mikrostrukturen einer ionisierenden Strahlung ausgesetzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Ionenstrahl mit definiert begrenztem Strahlquerschnitt und mit definierter Ionen-Eindringtiefe in den Resist unter programmgesteuerter Lageveränderung des Resists in mehreren Freiheitsgraden Bodenstrukturen in diesem erzeugt.

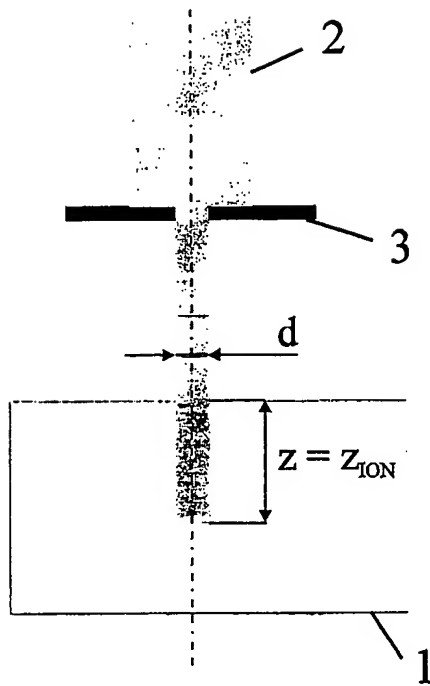
2. Vorrichtung zur Herstellung dreidimensionaler Mikrostrukturen beliebiger Form, bei dem ein Resist, zum Beispiel Polymethylmethacrylat (PMMA), zur Erzeugung der Mikrostrukturen einer ionisierenden Strahlung ausgesetzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Resist (1) im Bestrahlungsbereich eines Ionenstrahls (2) mit einem durch eine Blende (3) definiert begrenzten Strahlquerschnitt sowie mit definierter Ioneneindringtiefe in den Resist (1) angeordnet ist und daß der Resist (1) mit einem an sich bekannten und rechnergesteuert angetriebenen Goniometer (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11) zur programmgesteuerten Veränderung seiner Lage relativ zum Ionenstrahl (2) in Verbindung steht.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Blende (3) zur programmgesteuerten Einstellung des Blendenquerschnitts motorisch angetrieben ist.

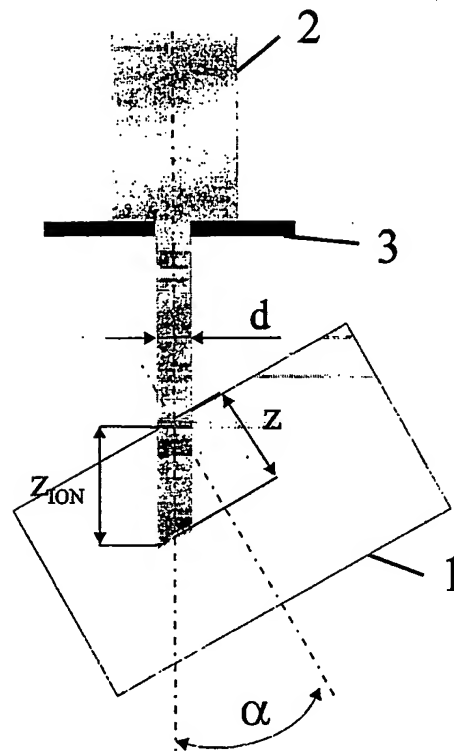
Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen



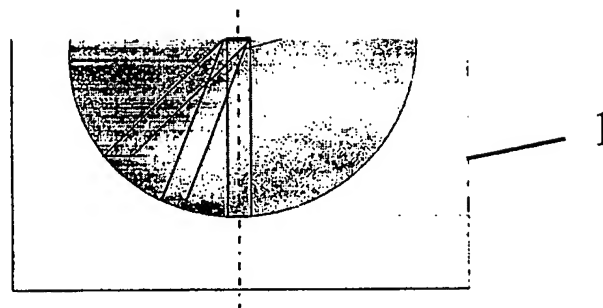
- Leerseite -



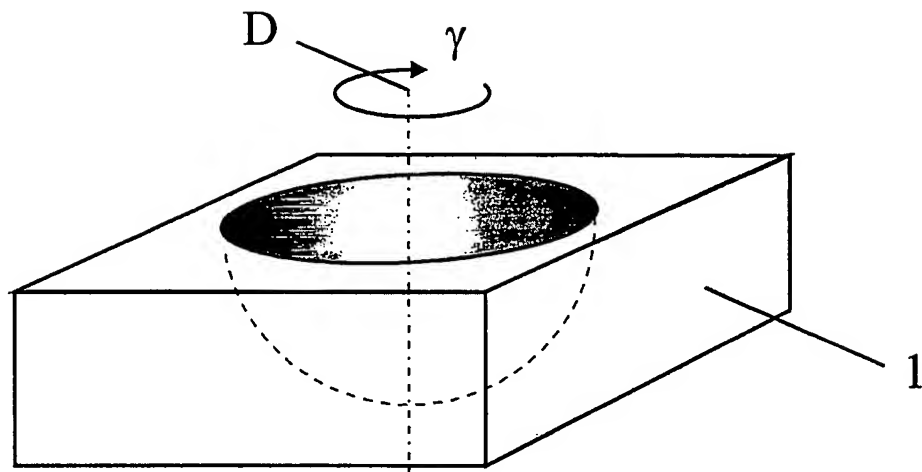
Figur 1



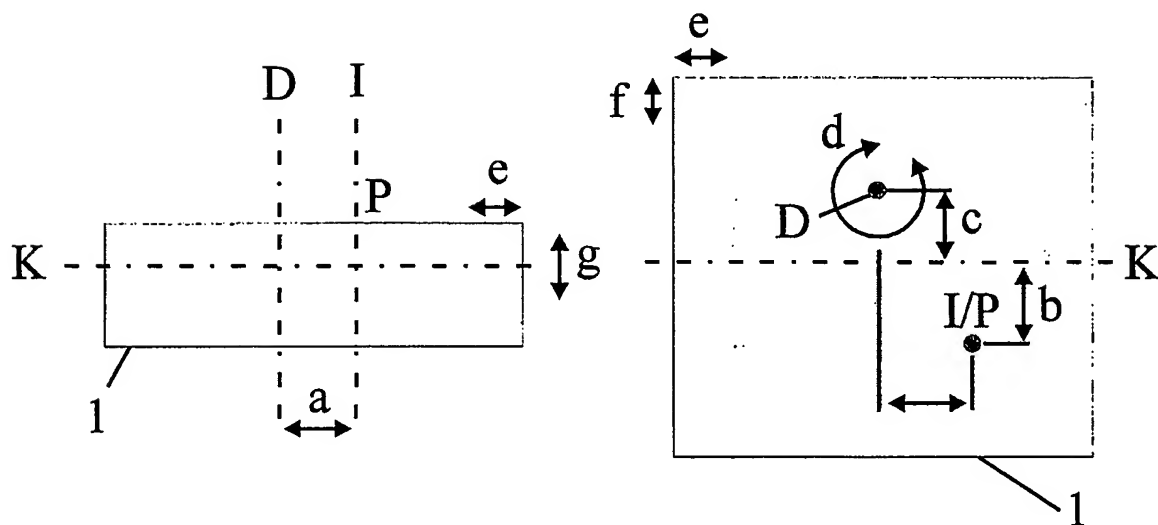
Figur 2



Figur 3

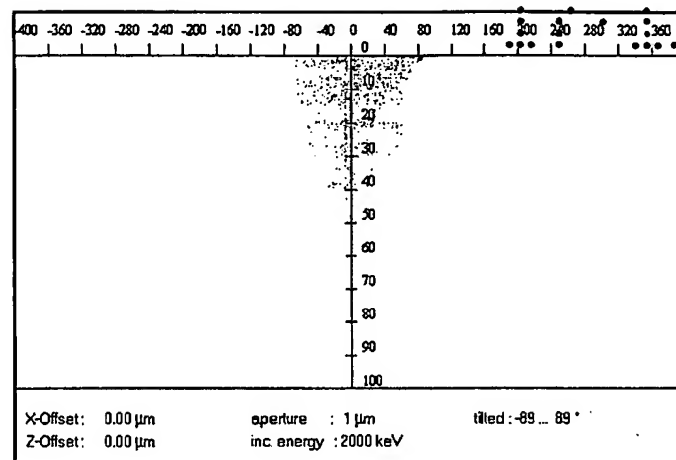


Figur 4

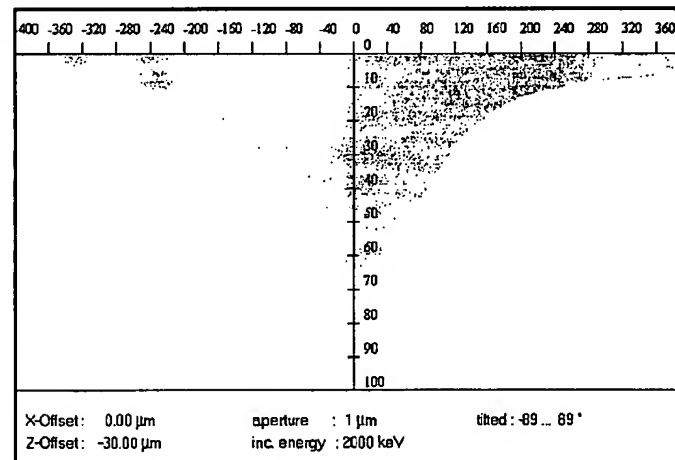


Figur 5

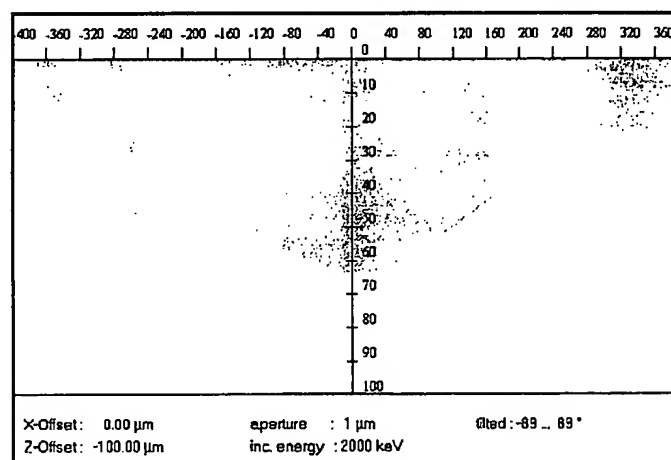




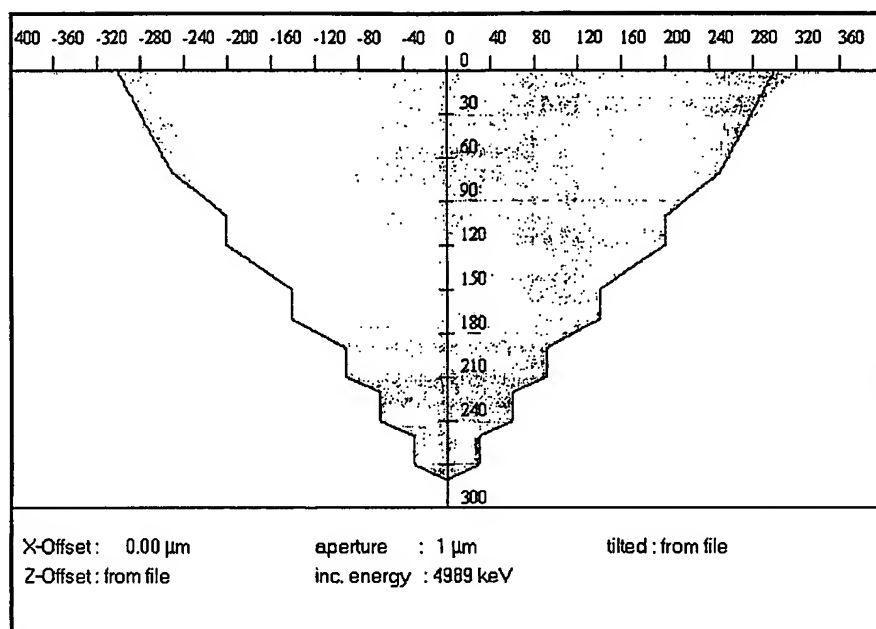
Figur 6a



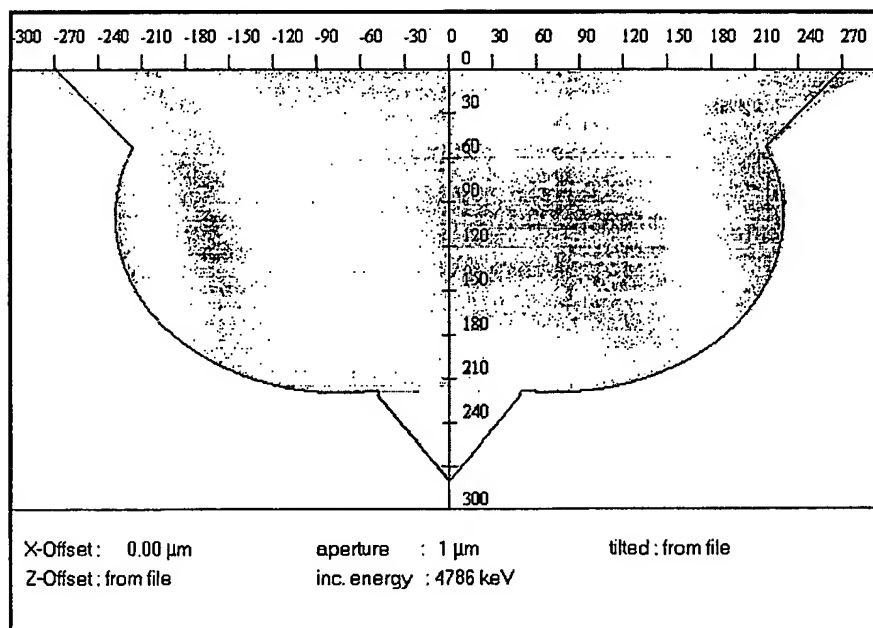
Figur 6b



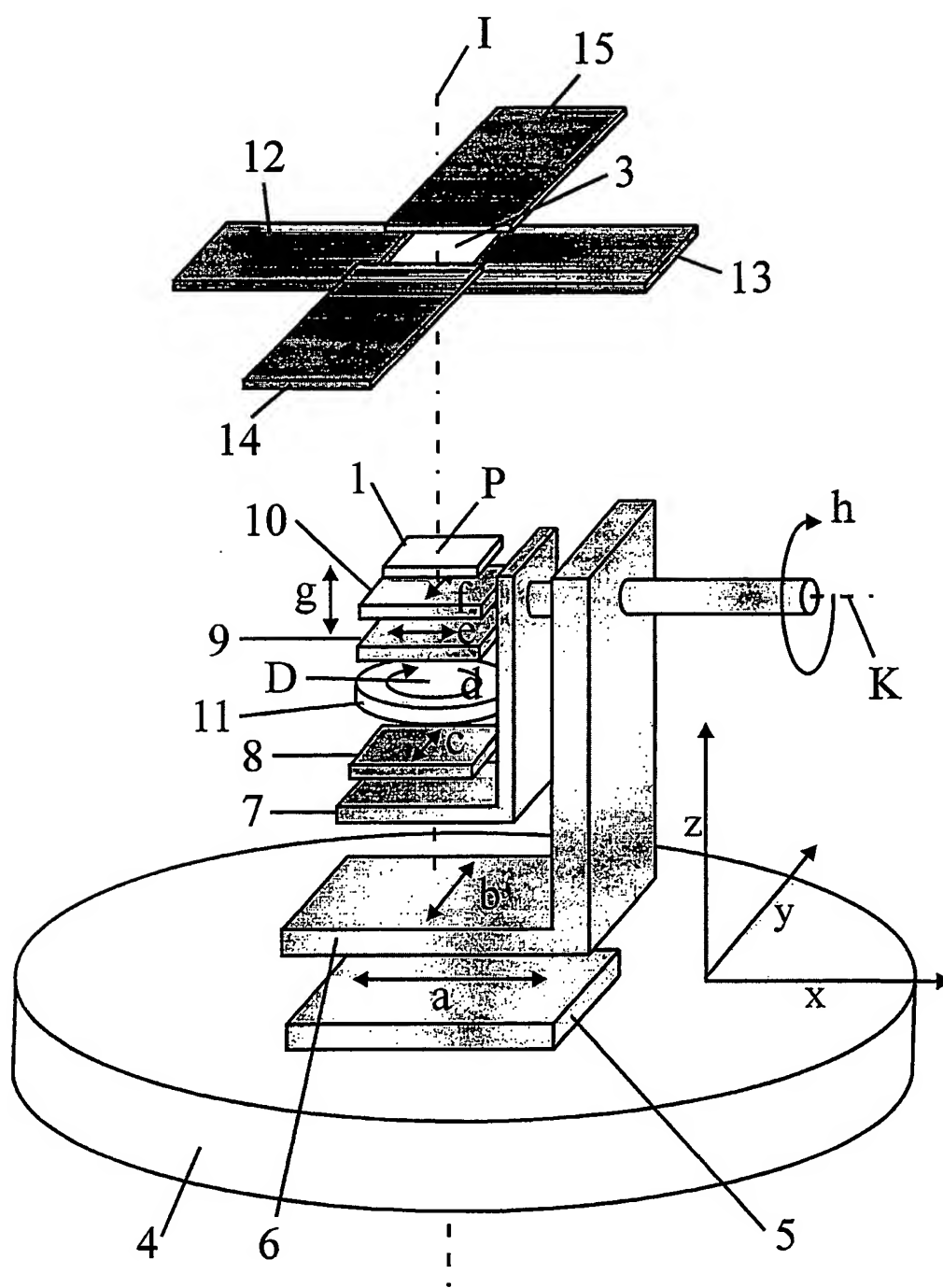
Figur 6c



Figur 7a



Figur 7b



Figur 8